

(51) Internationale Patentklassifikation 7:

B01F 5/06, 11/00, B01J 19/00

A1

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 00/54874

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum: 21. September 2000 (21.09.00)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP99/01722

(22) Internationales Anmeldedatum: 16. März 1999 (16.03.99)

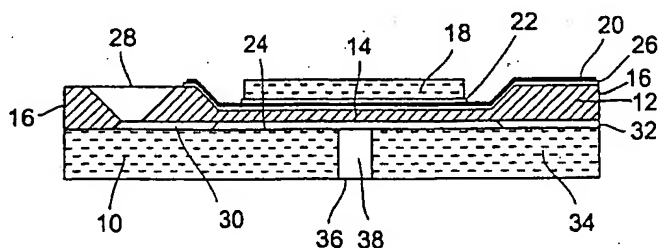
(71) Anmelder: FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG
E.V. [DE/DE]; Leonrodstrasse 54, D-80636 München
(DE).(72) Erfinder: WOIAS, Peter; Amselweg 10, D-81735 München
(DE).(74) Anwalt: SCHOPPE, Fritz; Schoppe & Zimmermann, Postfach
710867, D-81458 München (DE).(81) Bestimmungsstaaten: europäisches Patent (AT, BE, CH, CY,
DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT,
SE).

Veröffentlicht

Mit internationalem Recherchenbericht.

(54) Title: ACTIVE MICROMIXER

(54) Bezeichnung: AKTIVER MIKROMISCHER



(57) Abstract

The invention relates to an active micromixer which comprises a membrane element (12) with a marginal zone (16) and a membrane (14), an actuator (18) for deforming said membrane (14) being arranged on a main surface of said membrane. The active micromixer further comprises a substrate element (10) that is linked with the marginal zone (16) of the membrane element (12), thereby defining a mixing chamber (24) between the other main surface of the membrane (14) and the substrate element (10). At least two inlets (28, 30, 32, 34) for feeding at least two fluids to be mixed are provided. The mixing chamber (24) has an outlet (36, 38) that is provided in the substrate element (10). Said outlet (36, 38) is located in the substrate element (10) in such a manner that a deformable zone of the membrane is arranged opposite the outlet (36, 38) so that a pressure wave is caused when the membrane is deformed towards the outlet. Said pressure wave results in the fluid in the vicinity of the outlet being mixed. The active micromixer can be flexibly adjusted, is hardly susceptible to stopping-up and can be produced at low costs.

(57) Zusammenfassung

Ein aktiver Mikromischer umfaßt ein Membranelement (12) mit einem Randbereich (16) und einer Membran (14), wobei auf einer Hauptoberfläche der Membran (14) ein Aktor (18) zum Auslenken der Membran (14) angeordnet ist. Der aktive Mikromischer umfaßt ferner ein Substratelement (10), das mit dem Randbereich (16) des Membranelements (12) verbunden ist, um eine Mischkammer (24) zwischen der anderen Hauptoberfläche der Membran (14) und dem Substratelement (10) zu definieren. Zumindest zwei Einlässe (28, 30, 32, 34) zum Einspeisen von zumindest zwei zu mischenden Fluiden sind vorgesehen, wobei die Mischkammer (24) einen Auslaß (36, 38) aufweist, der in dem Substratelement (10) vorgesehen ist. Der Auslaß (36, 38) ist derart in dem Substratelement (10) vorgesehen, daß ein auslenkbarer Bereich der Membran dem Auslaß (36, 38) gegenüberliegt, derart, daß bei einer Auslenkung der Membran in Richtung des Auslasses einen Druckstoß auftritt, der eine Vermischung des Fluids in der Nähe des Auslasses bewirkt. Der aktive Mikromischer ist flexibel einstellbar, gegenüber Verstopfungen wenig anfällig und in der Herstellung günstig.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

Aktiver Mikromischer

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf die Mischung von Flüssigkeiten und/oder Gasen und insbesondere auf einen aktiven Mikromischer zum Mischen kleiner Stoffmengen.

Die Mischung von Flüssigkeiten und/oder Gasen, d.h. von Fluiden, wird in verschiedensten Bereichen der Technik benötigt. Typische Anwendungsfelder sind beispielsweise die Mischung mehrkomponentiger Klebstoffe oder Vergußmassen in der Fertigungstechnik, Mischprozesse in der chemischen Synthese und Reaktionstechnik, die Herstellung homogener Emulsionen oder Mischvorgänge in der chemischen Analytik.

Neben bekannten Stapel- oder Batchprozessen, die beispielsweise mittels eines Rührkessels oder eines rotierenden Trommelmischers ausgeführt werden, werden Mischprozesse häufig auch im Durchfluß mittels sogenannter Durchflußmischer ausgeführt. Vor dem Hintergrund einer allgemeinen Miniaturisierung in nahezu allen technisch relevanten Anwendungsbereichen kommt der Entwicklung von Durchfluß-Mikromischern eine zunehmende Bedeutung zu. Mikromischer haben im Unterschied zu Makromischern eine kleine Geometrien und/oder kleine Durchsätze. Durchsätze, die von Mikromischern erzeugt werden, liegen bei Flüssigkeiten typischerweise unter 1 l/Stunde. Typische Geometrien eines Mikromischers liegen im Bereich von μm bis zu einigen mm.

Generell lassen sich die bekannten Mischer in einerseits statische Mischer und andererseits aktive Mischer aufteilen. Zunächst wird auf die statischen Mischer eingegangen. Aus technischer Sicht beruhen Durchfluß-Mikromischer häufig auf dem Konzept des sogenannten statischen Mischers, das auch aus der makroskopischen Technik beispielsweise zur Durchmischung von mehrkomponentigen Klebstoffen bekannt ist. Diese

Mischer sind passive Komponenten, d.h. sie verwenden keine separat zugeführte Zusatzenergie, um eine Durchmischung der Ausgangskomponenten zu erzielen. Um eine möglichst homogene Mischung zu erhalten, sind je nach fluidischen Gegebenheiten Diffusions- und/oder Turbulenzeffekte wirksam. Das Mischverhältnis der zugeführten Ausgangskomponenten kann durch entsprechende Einstellung der Stoffströme extern oder durch das Design des Mischelements, z.B. über eine Querschnittsdimensionierung der durchströmten Struktur, festgelegt werden.

In Mikrostrukturen bestehen im Unterschied zu makroskopischen Systemen generell laminare Strömungsverhältnisse. Turbulente Strömungen, die eine effektivere Mischung erlauben würden, sind in statischen Mikromischern nicht nutzbar. Dadurch wird die Diffusionszeit bzw. die korrespondierende Diffusionslänge zur bestimmenden Größe für die Effizienz des Mischprozesses. In bekannten Mikromischerkonzepten wird diese Größe durch die im folgenden Maßnahmen beschriebenen reduziert.

Durch mehrfache laterale Aufspaltung und abwechselnde Schichtung der zugeführten Fluidströme in einem Mikrokanalsystem werden im Auslaß des Mikromischers möglichst dünne, parallel verlaufende Partialströme der zu mischenden Komponenten erzeugt. Die auf diese Weise stark vergrößerten Grenzflächen zwischen den Partialströmen sowie die geringen Ausdehnungen der einzelnen Partialströme reduzieren die kritischen Diffusionslängen lateral zur Strömungsrichtung und erlauben im Vergleich zu einer einfachen Zweiphasenströmung eine wesentlich schnellere Mischung durch Diffusion. Die Lamination wird sowohl einstufig in Multiparallel-Konfigurationen (siehe beispielsweise Kämper et al., Microfluidic Components for Biological and Chemical Microreactors, Proc. of the IEEE MEMS-97 Workshop, 26.-30. Januar 1997, Nagoya, Japan, p.338-343) als auch mehrstufig durch Serienschaltung gleichartiger Laminatoren (siehe Hessel et al., Potential and Realisation of Microreactors, Proc. of the International Symposium on Microsystems, Intelligent Materials and Robots,

Sendai, Japan, September 1995) realisiert.

Eine weitere bekannte Anordnung, die in Miyake et al., Micromixer with Fast Diffusion, Proc. of the IEEE MEMS-93 Workshop, 07.-10. Februar 1993, Fort Lauderdale, Florida, p. 248-253 beschrieben ist, besteht aus einem Düsenarray an der Seitenwand eines Mikrokanals, über welches eine der zu mischenden Komponenten direkt in die im Kanal strömende zweite Komponente injiziert wird. Diese Anordnung nutzt wiederum hauptsächlich den Effekt der Grenzflächenvergrößerung sowohl lateral als auch longitudinal zur Strömungsrichtung, um die kritischen Diffusionslängen zu reduzieren.

Eine ähnliche Anordnung (Voldman et al., Liquid mixing studies with an integrated mixer/valve, Proc. of the μ TAS '98 Workshop, 13.-16. Oktober 1998, Banff, Kanada, p. 181-184) verwendet anstelle der Düsenplatte ein Klappenventil, das an der Seitenwand eines Mikrokanals angeordnet ist und einen seitlich einmündenden zweiten Mikrokanal verschließt. Sobald im Seitenkanal mittels Überdruck ein Fluid eingespeist wird, öffnet das Klappenventil und erlaubt eine Zusammenführung und Durchmischung der beiden Teilströme im Hauptkanal. Maßnahmen zur Reduzierung der Diffusionslängen werden hier nicht getroffen.

Im Gegensatz zu statischen Mischern, bei denen keine Zusatzenergie zur Durchmischung aufgewendet wird, nutzen die sogenannten aktiven Mikromischer eine separat zugeführte Zusatzenergie, um den Mischprozess zu unterstützen oder herbeizuführen.

Die DE 196 11 270 A1 beschreibt einen Mikromischer zur Handhabung kleinster Flüssigkeitsmengen. Derselbe umfaßt einen strukturierten Siliziumchip, der mit einer Pyrex-Glasplatte einen Silizium-Glas-Verbund bildet. Der strukturierte Silizium-Chip enthält die Strukturen einer Mikroejektionspumpe mit einem Zulaufkanal, einer Pumpkammer und einem Auslaßkanal sowie einen weiteren Zulaufkanal, der mit dem Auslaßkanal

nal der Mikroejektionspumpe verbunden ist. Alternativ können beide Zulaufkanäle in die Pumpkammer führen. Sowohl die Einlaßkanäle als auch der Auslaßkanal sind ebenfalls wie die Pumpkammer in einer Ebene in dem Silizium-Chip strukturiert. In einem Belademodus wird die Pumpkammer gefüllt, indem die miteinander zu vermischenden Flüssigkeiten aus den Zulaufkanälen und aus dem Auslaßkanal in die Pumpkammer gesaugt werden. In einem Entlademodus wird der Inhalt der Pumpkammer in Tropfenform über den Auslaßkanal aus einer Auslaßöffnung abgegeben. Der Auslaßkanal endet dabei seitlich an der Chipkante in einer freien Öffnung. Die Einstellung der Mischverhältnisse geschieht durch geeignete Variation der Querschnitte von Einlaß- und Auslaßkanälen, durch Einstellung einer geeigneten Arbeitsfrequenz der Pumpenmembran und/oder durch das Abtrennen einzelner Einlaßkanäle mit Hilfe externer Ventile.

Eine weiterer aktiver Mischer ist in Yotsumoto et al., Fabrication of an integrated mixing/reaction micro flow cell for μ TAS, Proc. of the μ TAS '98 Workshop, 13.-16. Oktober 1998, Banff, Kanada, p. 185-188 beschrieben. Hier wird ein statischer Mischer über ein Mikrokanalsystem mit einem nachgeschalteten Oberflächenwellenbauelement kombiniert, das als Ultraschallgenerator mit einer Frequenz im Bereich von 10 MHz eingesetzt wird.

Statische Mischer nach dem Laminarströmungskonzept weisen zur Reduzierung der Diffusionslängen typische Kanalbreiten im Bereich einiger 10 μ m bis hinab zu einigen μ m auf. Dadurch besteht grundsätzlich die Gefahr der Verstopfung durch Partikel. Des weiteren bedingt das Konzept eine vergleichsweise komplexe Gestaltung des Kanalsystems und erhöht somit häufig die Komplexität des Herstellungsverfahrens sowie die Größe der meist planaren Chipstrukturen, wodurch solche Mischerkonzepte teuer werden. Durch komplexe Faltung der Strömungsführung besteht überdies die Gefahr der Sedimentation in Totzonen. Bei Befüllung dieser stark parallel verzweigten Kanalstrukturen besteht die Gefahr, daß einzelne Seitenzwei-

ge sich nicht mit Flüssigkeit füllen und somit nicht zur Mischung beitragen. Seriengeschaltete mehrstufige Mikromischer können zwar mit einfacheren Einzelstufen realisiert werden, die die genannten Nachteile im geringeren Maße aufweisen. Die mehrstufige Anordnung erhöht jedoch wiederum die Chipgrößen sowie zusätzlich die gesamte Verweilzeit im Mischer. Generell ist festzustellen, daß in statischen Mischern aus fluidmechanischen Gründen die Mischqualität durch die Strömungsgeschwindigkeit beeinflußt wird und mit Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit abnimmt.

Der in der DE 196 11 270 A1 beschriebene Mischer basiert auf einem Tropfendosierkonzept und ist somit nicht im echten Durchflußbetrieb einsetzbar. Dieses Konzept ist dadurch, daß sowohl zur Mischung als auch zur Fluidförderung dieselbe Mikroejektionspumpe verwendet wird, gegenüber Störeinflüssen empfindlich, wie sie beispielsweise durch eine von Medieneigenschaften abhängige Meniskusbildung am Auslaß oder der Ablagerung von Partikeln am Auslaß resultieren. Des weiteren sind durch die technologisch eingestellte Breite der Einlaß- und Auslaßkanäle nur fest vorgegebene Mischverhältnisse realisierbar. Medieneigenschaften, wie z.B. die Viskosität und damit auch die Temperatur oder Partikeldichte, beeinflussen gleichfalls das Strömungsverhalten der gesamten Struktur und limitieren daher den Einsatzbereich.

Die Serienschaltung aus statischem und aktivem Mischer verwendet zur aktiven Mischung das Ultraschallprinzip mittels SAW bei einer Frequenz von 10 MHz. Es ist bekannt, daß bei diesem Prinzip, bedingt durch den geringen Wirkungsgrad des SAW eine sehr hohe elektrische Leistung benötigt wird, um ausreichend mechanische Energie in das Medium einzubringen. Der gesamte Wirkungsgrad der Anordnung ist daher niedrig.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, einen aktiven Mischer zu schaffen, der in der Herstellung weniger aufwendig ist und andererseits eine Zuverlässigkeit, eine gute Mischwirkung und eine hohe Flexibilität liefert, um in

verschiedenartigen Situationen eingesetzt werden zu können.

Diese Aufgabe wird durch einen aktiven Mikromischer nach Patentanspruch 1 gelöst.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, daß das Fördern des gemischten Fluids einerseits und das Vermischen andererseits soweit als möglich getrennt werden müssen, um einen aktiven Mikromischer zu erhalten, dessen Mischqualität relativ unabhängig von der geförderten Menge ist, bzw. der es erlaubt, in einem Bereich von zu fördernden Mengen eine gute Mischqualität sicherzustellen, der also flexibel und zuverlässig ist. Zum Mischen wird erfindungsgemäß eine Membran mittels einer an derselben befestigten Anregungseinrichtung, die ein Aktor oder auch ein Teil eines Aktors sein kann, ausgelenkt. Die Membran definiert zusammen mit einem Substratelement eine Mischkammer, die jedoch ohne komplizierte Formgebungen auskommt, da eine Mischwirkung durch Zusammenwirken der Membran und einem Auslaß, der gegenüber der Membran in dem Substratelement eingebracht ist, erreicht wird. Insbesondere entsteht durch Auslenkung der Membran durch die auf derselben angeordneten Anregungseinrichtung zu dem Auslaß hin ein Druckstoß, der eine Vermischung des Fluids in der Nähe der Auslaßöffnung bewirkt. Durch diesen Druckstoß bei jeder Auslenkung der Membran zu dem Auslaß hin wird das ansonsten laminare Strömungsprofil im Auslaß stark gestört, was zu einer sehr effektiven Reduzierung der Diffusionslängen durch eine durch die Membran bewirkte dreidimensionale Verwirbelung führt.

Bei dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung liegt der Auslaß in dem Bereich der Membran, der die größte Auslenkung zeigt, was beispielsweise in der Mitte der Membran sein kann. Die zumindest zwei Einlässe in die Mischkammer liegen bevorzugterweise am Rand der Membran, derart, daß das Fluid durch die Mischkammer einen möglichst langen Weg zurücklegen muß, bis es in die Nähe des Auslasses kommt, derart, daß die beiden zu mischenden Fluide bereits

durch die sich hin- und her bewegende Membran gewissermaßen einer "Vormischung" unterzogen werden, bevor sie durch den Druckstoß an dem Auslaß vollends verwirbelt werden.

Ein weiterer Vorteil des Zusammenwirkens der Membran und des der Membran gegenüberliegenden Auslasses besteht darin, daß, wenn die Membran von dem Auslaß weg ausgelenkt wird, Fluid aus dem Auslaß wieder in die Kammer eingesaugt wird, um mit dem Inhalt der Mischkammer vermischt zu werden. Dieser Mischeffekt ist am größten, wenn der Auslaß dort angeordnet ist, wo die Membran die größte Auslenkung hat. Das selbe trifft für den Druckstoß bei der Abwärtsbewegung der Membran zu. Daher wird es bevorzugt, den Auslaß und die Membran so anzuordnen, daß der Auslaß in dem Bereich der Membran ist, wo die höchste Auslenkung der Membran auftreten kann. Wird aus bestimmten Gründen der Auslaß in einem Bereich der Membran angeordnet, der eine geringere als die maximale Auslenkung hat, so wird der Effekt zwar abnehmen, jedoch immer noch vorhanden sein. Für die vorliegende Erfindung ist es daher lediglich von Bedeutung, daß an dem Bereich, wo der Auslaß bezüglich der Membran angeordnet ist, die Membran eine Auslenkung haben kann, derart, daß ein Druckstoß in Richtung des Auslasses ausgeübt werden kann, um die dreidimensionale Verwirbelung zu erreichen.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend bezugnehmend auf die beiliegenden Zeichnungen detailliert erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 einen Querschnitt durch einen aktiven Mischer gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2 eine Unteransicht des Membranelements von Fig. 1;

Fig. 3 einen Querschnitt durch einen aktiven Mischer gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 4 eine Unteransicht des Membranelements des in Fig. 3 gezeigten aktiven Mischers;

Fig. 5 eine Querschnittansicht des aktiven Mischers, in der die Situation bei von dem Substratelement weg ausgelenkter Membran dargestellt ist; und

Fig. 6 eine Schnittansicht des aktiven Mischers zur Veranschaulichung der Situation bei zu der Auslaßöffnung hin ausgelenkter Membran.

Fig. 1 zeigt einen aktiven Mikromischer mit einem Substratelement 10 und einem Membranelement 12, die aus Silizium, Metall, Glas und/oder Kunststoff gebildet sind und vorzugsweise planare Chipstrukturen sind. Das Substratelement und das Membranelement sind durch ein für die verschiedenen Materialien geeignetes Verbindungsverfahren, wie z.B. anodisches Bonden, Silicon-Fusion-Bonden, oder Kleben, fluidisch dicht aufeinander montiert. Das Membranelement 12 umfaßt eine dünne Membran 14 sowie einen Randbereich 16. Die dünne Membran bzw. die Strukturierung des Membranelements kann durch bekannte Herstellungsverfahren realisiert werden. Hierfür kommen beispielsweise in Frage:

- bei Silizium anisotropes, (durch Plasmaprozesse) gerichtetes oder isotropes Ätzen;
- bei Kunststoff Spritzguß oder Prägen;
- bei Glas Ätzen, Laserbearbeitung oder Direktstrukturierung von photosensitivem Glas; und
- bei Metall mechanische Bearbeitung, Ätzen oder Prägen.

Auf einer Hauptoberfläche der Membran 14 ist ein Aktor 18

befestigt. Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung ist der Aktor 18 als piezoelektrischer Aktor ausgeführt. Für Fachleute ist es jedoch offensichtlich, daß andere Antriebsprinzipien, d.h. Aktoren, verwendet werden können, um die Membran 14 zu treiben. Dies könnten beispielsweise elektrostatische Aktoren in Form eines Kondensators, magnetische Aktoren usw. sein. Für die Beschreibung der vorliegenden Erfindung wird jedoch im Nachfolgenden von einem piezoelektrischen Aktor 14 als bevorzugtem Aktor ausgegangen.

Der piezoelektrische Aktor 14 ist von bekannter Bauart und umfaßt eine dünne Scheibe aus piezoelektrisch aktivem Material, die auf ihrer Oberseite und auf ihrer Unterseite jeweils metallisiert ist. Zur Kontaktierung der unteren Metallelektrode des Piezoaktors ist die Oberseite, d.h. die erste Hauptoberfläche, des Membranelements 12 ebenfalls metallisiert, was in Fig. 1 durch eine Membranelektrode 20 dargestellt ist. Als Verbindungsmittel zwischen dem piezoelektrischen Aktor 14 und der Membran bzw. der Membranelektrode 20 kann einerseits ein Klebeverfahren oder andererseits ein Lötverfahren verwendet werden, wie es durch eine Kleber- oder Lotschicht 22 in Fig. 1 symbolisch dargestellt ist. Andere geeignete Verbindungsverfahren können ebenfalls eingesetzt werden.

Die leitfähige Verbindung zwischen der Membranelektrode 20 und der unteren Aktorelektrode ist durch ein Lötverfahren automatisch gegeben. Beim Klebeverfahren ist eine ausreichend dünne Kleberschicht erforderlich, damit die üblicherweise rauhen Oberflächen beider Metallisierungen an einer oder mehreren Stellen in direkten Kontakt kommen können. Alternativ könnte auch ein leitfähiger Kleber und dergleichen eingesetzt werden.

Bevorzugterweise wird eine elektrische Isolation der Potentiale an der Membranelektrode 20 von dem Fluid in einer Mischkammer 24 erreicht, indem eine Isolatorschicht 26

zwischen der Membranelektrode 20 und dem Membranelement vorgesehen wird. Alternativ könnte statt der dünnen Isolatorschicht 26 ein elektrisch nicht-leitendes Membranmaterial, wie z.B. Kunststoff oder Glas, eingesetzt werden.

Die Mischkammer 24 wird durch das Membranelement 12 einerseits und das Substratelement 10 andererseits definiert. Dazu kann wahlweise im Substratelement 10 oder im Membranelement 12 oder in beiden Elementen eine Einsenkung realisiert sein. Bei dem in Fig. 1 gezeigten Ausführungsbeispiel umfaßt das Membranelement 12 eine Einsenkung, wie es am linken Rand von Fig. 1 sichtbar ist. Die laterale Form der Mischkammer 24 ist durch geeignete Fertigungsverfahren beliebig gestaltbar. Es wird jedoch bevorzugt, daß die Mischkammer 24 flach ausgelegt ist, d.h. daß die vertikale Abmessung geringer als die lateralen Abmessungen ist. Die vertikale Abmessung sollte darüberhinaus in der Größe der mit dem Membranaktor 14 erzielbaren Abwärtsbewegung liegen, die beispielsweise 15 μm betragen kann. Die vertikale Messung der Mischkammer 24, d.h. die Abmessung der Mischkammer senkrecht zur Substratelementoberfläche bzw. senkrecht zur anderen Hauptoberfläche der Membran 14, soll insbesondere die mögliche Auslenkung der Membran nicht um Größenordnungen übersteigen. Andererseits wird die vertikale Abmessung der Mischkammer 24 bevorzugterweise so groß gewählt, daß das Passieren der zu mischenden Medien bzw. von eventuell in den zu mischenden Medien vorhandene Partikeln ohne größeren Strömungswiderstand und ohne Verstopfung der Struktur möglich ist. Typische Abmessungen für die Mischkammer liegen im Bereich von 5 μm und 100 μm .

In die Mischkammer 24 münden in beliebiger Kombination seitlich, vertikal bzw. schräg durch das Membranelement 16 oder auch vertikal bzw. schräg durch das Substratelement 10 zumindest zwei Zuführungskanäle für zumindest zwei zu mischende Flüssigkeiten. In Fig. 1 ist ein Fall gezeichnet, bei dem eine Einlaßöffnung 28 durch den Randbereich 16 des Membranelements 12 in einen Zuführungskanal 30 mündet. Die andere

Einlaßöffnung 32 verläuft zwischen Membranelement 12 und Substratelement 10, derart, daß kein Durchbruch des Membranelements 12 erforderlich ist und steht über einen entsprechenden Zuführungskanal 34 ebenfalls mit der Mischkammer 24 in fluidischer Verbindung. Vorzugsweise im Zentrum der Mischkammer 24 befindet sich eine Auslaßöffnung 36 des aktiven Mischers, die über einen Auslaßkanal 38, dessen Länge der Dicke des Substratelements 10 entspricht, mit der Mischkammer 24 in fluidischer Verbindung ist. Selbstverständlich ist es nicht erforderlich, daß der Auslaßkanal entlang seiner Länge immer den gleichen Durchmesser hat. Die Auslaßöffnung 36 durch das Substratelement 10 hindurch kann eine beliebige Form annehmen. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß die Anordnung der Auslaßöffnung 36 im Zentrum der Membran 14, d.h. dort wo diese die höchste Auslenkung hat, lediglich eine bevorzugte Ausgestaltung des aktiven Mischers ist. Für die Mischwirkung aufgrund des Zusammenspiels der Membran und der Auslaßöffnung ist es lediglich erforderlich, daß die Auslaßöffnung gegenüber der Membran in einem Bereich des Substratelements 10 angeordnet ist, wo die Membran noch eine Auslenkung hat. Dieser Bereich kann daher durchaus je nach Anwendungsfall aus der Mitte der Mischkammer 24 versetzt sein und einem Bereich der Membran gegenüberliegen, der eine geringere Auslenkung als die maximale Auslenkung der Membran in einem anderen Bereich der Membran hat. Hier wird die Mischwirkung zwar etwas nachlassen, je nach Anwendungsfall dürfte dieselbe jedoch dennoch ausreichend sein.

Die Abmessungen der Zuführungskanäle und des Auslaßkanals sind vorzugsweise so gewählt, daß sie die Zufuhr und Abfuhr der jeweiligen Medien nicht beispielsweise über einen Druckabfall entlang der Kanäle wesentlich beeinflussen oder beeinträchtigen. Insbesondere sind die Einlaßöffnungen, die Zuführungskanäle und der Auslaßkanal bevorzugterweise groß genug ausgelegt, um bei eventuell partikelbehafteten Medien ein einwandfreies Passieren der Partikel zu ermöglichen.

Fig. 2 zeigt eine Ansicht von unten des Membranelements 12, um eine mögliche Ausgestaltung der Einlaßöffnungen 28, 32, sowie der Zuführungskanäle 30, 34 des aktiven Mischers darzustellen. In Fig. 2 ist mit den Bezugszeichen 36 die Auslaßöffnung angedeutet, wobei dieselbe jedoch gestrichelt angegeben ist, um zu veranschaulichen, daß dieselbe selbstverständlich nicht in dem Membranelement 12 vorgesehen ist, sondern in dem gegenüberliegenden Substratelement 10 (Fig. 1). Aus Fig. 2 ist zu sehen, daß es bevorzugt wird, die Einlaßkanäle 31, 34 zu konfigurieren, daß die zu vermischenden Medien an den Diagonalenenden einer quadratischen Mischkammer 24 eingespeist werden.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß die Mischkammer 24 zumindest zwei Einlässe und einen Auslaß aufweist. Ein Einlaß in die Mischkammer wird durch die Stelle definiert, an der ein Zuführungskanal von einer Einlaßöffnung in die Mischkammer eintritt. Diese Stelle ist durch einen entsprechenden Zuführungskanal gegeben, der auf seiner anderen Seite in einer Öffnung des Mischers nach außen endet. Dasselbe gilt analog für den Auslaß. Der Auslaß wird durch die Stelle definiert, an der ein zu einer Auslaßöffnung führender Auslaßkanal aus der Mischkammer austritt.

Wenn der aktive Mischer, dessen Membranelement in Fig. 2 gezeigt ist, z.B. drei oder vier Medien miteinander vermischen soll, so könnten an den beiden noch freien Ecken ebenfalls Einlaßöffnungen bzw. entsprechende Einlaßkanäle angelegt werden, derart, daß die Mischkammer 24 von allen Ecken gespeist wird. Es wird bevorzugt, daß der Abstand zwischen den Einlässen in die Mischkammer 24 und dem Auslaß (36, 38) in dem Substratelement 10 (Fig. 1) maximal gewählt wird, derart, daß das Fluid einen möglichst großen Bereich der Mischkammer 24 durchfließen muß, bevor es zu dem Auslaß gelangt, um bereits durch die sich hin- und herbewegende Membran 14 (Fig. 1) vorgemischt zu werden, bevor die Fluide dann durch das Zusammenspiel der Membran und den Auslaß

fertig gemischt werden. Sollen mehr als vier Fluide gemischt werden, so sind beispielsweise fünf-, sechs- oder sieben-eckige Mischkammern 24 bzw. im Grenzfall runde Mischkammern denkbar, die entlang ihres Umfangs mit Fluideinlässen versehen sind, um für jeden Fluideinlaß in die Mischkammer einen möglichst großen Abstand zum Auslaß in dem Substratelement 10 (Fig. 1) vorzusehen.

Fig. 3 zeigt einen aktiven Mischer gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, bei dem sämtliche Öffnungen in dem Substratelement 10 vorgesehen sind, d.h. die eine Einlaßöffnung 28' mit einem zugeordneten Einlaßkanal 30' sowie eine weitere Einlaßöffnung 32' mit einem zugeordneten weiteren Einlaßkanal 34'. Genauso wie in Fig. 1 ist jedoch die Auslaßöffnung 36 gegenüber der Membran 14 angeordnet. Das in Fig. 3 gezeigte Ausführungsbeispiel hat in der Herstellung den Vorteil, daß die Einlaßöffnungen bzw. Einlaßkanäle im gleichen Fertigungsschritt wie die Auslaßöffnung bzw. der Auslaßkanal hergestellt werden können, und daß das Membranelement 12 keiner derartigen Behandlung unterzogen werden braucht. Aus Fig. 3 ist ferner zu sehen, daß auch hier die Mischkammer 24 durch eine Einsenkung in dem Membranelement 12 realisiert ist. Alternativ könnte dieselbe, wie es bereits ausgeführt worden ist, ebenfalls durch eine Einsenkung in dem Substratelement 10 oder durch eine Einsenkung in beiden Elementen realisiert werden. Der Aktor ist wieder als piezoelektrischer Aktor 18 ausgeführt.

Fig. 4. zeigt eine Unteransicht des in Fig. 3 gezeigten Membranelements 12, wobei wieder gestrichelt die in dem Substratelement 10 vorhandenen Einlässe bzw. Einlaßöffnungen 28', 32' dargestellt sind, deren Anordnung bezüglich dem Auslaß bzw. der Auslaßöffnung 36 im Substratelement 10 den Vorteil hat, daß dieselben möglichst weit von der Auslaßöffnung 36 beabstandet angeordnet sind, um einen möglichst großen "Vormisch"-Effekt zu erreichen.

Im Nachfolgenden wird anhand der Fig. 5 und der Fig. 6 der

Betrieb des erfindungsgemäßen aktiven Mikromischers beschrieben. Zum Betrieb des Mischers werden die Einlaßöffnungen 28, 32 bzw. 28', 32' mit Einspeisevorrichtungen verbunden, die die jeweiligen Ausgangskomponenten, d.h. die zu mischenden Fluide, aktiv zu dosieren. Das Mischverhältnis wird somit explizit durch externe Einstellung der Dosierarten der Einspeisevorrichtungen eingestellt, wodurch beliebige von außen steuerbare Mischverhältnisse möglich werden, die auch dynamisch verändert werden können. Der Aktor 18 zusammen mit der Membran führt daher im wesentlichen die Aufgabe des Mischens insbesondere im Zusammenspiel mit der Auslaßöffnung 36 durch, während das Einspeisen des Fluids durch die externen dosierratenmäßig steuerbaren Einspeisevorrichtungen bewirkt wird.

Wenn die Mischkammer 24 eine geringe Höhe hat, entsteht in derselben im stationären Fall üblicherweise ein zum Auslaß 36 rotationssymmetrisches Strömungsbild, daß aus Segmenten der jeweils zugeführten Teilströme besteht. Die jeweiligen Grenzschichten zwischen diesen Teilströmen laufen auf den gemeinsamen vorzugsweise zentralen Auslaß 36, 38 zu. Zur Durchführung von Mischprozessen wird der Verbund aus Piezoaktor 18 und Membran durch Anlegen einer elektrischen Spannung am Piezoaktor periodisch nach oben (Fig. 5) und nach unten (Fig. 6) ausgelenkt. Dadurch wird das Volumen der Mischkammer 24 periodisch vergrößert und verkleinert, wodurch das im Ruhezustand laminare Strömungsbild im Inneren der Kammer periodisch stark gestört wird und sich somit eine Vermischung ergibt, die die bereits mehrmals erwähnte "Vormischung" ist. Daher wird es bevorzugt, den Einlaß in die Mischkammer möglichst weit entfernt von dem Auslaß anzuordnen. Für andere Anordnungen, bei denen der Auslaß nicht zentral ist bzw. der Abstand zwischen den Einlässen und dem Auslaß nicht maximal ist, dürfte dieser "Vormischungseffekt" zwar abnehmen, es wird jedoch immer noch eine Vermischung aufgrund des Zusammenspiels der Membran und des Auslasses auftreten.

Darüber hinaus wird insbesondere bei der Aufwärtsbewegung des Aktors 18 (Fig. 5) Flüssigkeit 50 aus dem Auslaß wieder in die Kammer 24 eingesaugt und mit dem in der Mischkammer 24 vorhandenen Fluid erneut vermischt. Da der Membranhub bei dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung im Zentrum der Mischkammer am höchsten ist, zeigt sich hier der stärkste Mischeffekt. Im Randbereich der Mischkammer 24 nimmt der Mischeffekt dagegen ab.

Darüber hinaus entstehen vor allem bei der Abwärtsbewegung der Membran (Fig. 6) und in geringerem Maße auch bei der Aufwärtsbewegung in dem Auslaß 36, 38 des Mikromischers, der vorzugsweise am Ort der höchsten Membranauslenkung angeordnet ist, Druckstöße in Strömungsrichtung, die das im statischen Zustand laminare Strömungsprofil 60 im Auslaß periodisch stark stören und so zu einer sehr effizienten Reduzierung der Diffusionslänge durch dreidimensionale Verwirbelung führen.

Die Auslenkung des Aktors 18 sollte in beide Richtungen hinreichend groß gewählt werden, beispielsweise 10 μm nach unten und 5 μm nach oben bei einer Kammertiefe von 15 μm , um einen signifikanten Anteil des Mischkammervolumens periodisch zu bewegen und so in der Mischkammer bereits den Vormischeffekt zu erzielen. Darüber hinaus sollte bei der Abwärtsbewegung des Aktors 18 ein ausreichend großer Hub eingestellt werden, um im Auslaß ausreichend hohe Druckstöße zur Verwirbelung der Strömungsfäden 16 zu erzeugen.

Wie es bereits ausgeführt worden ist, stellt die Anregung der Membran 14 mittels eines piezoelektrischen Aktors 18 lediglich eine bevorzugte Anregungsmöglichkeit dar. Alternativ können andere Mittel eingesetzt werden. Es sollte jedoch darauf geachtet werden, daß die Frequenz der Membranbewegung hoch genug ist, um abhängig von der durch die Einspeisevorrichtungen eingestellten Auslaß-Strömungsrate eine ausreichend schnelle Periodenfolge und damit eine homogene Durchmischung zu erreichen. Eine obere Grenze der Frequenz

ist dadurch gegeben, daß durch die Trägheit der Fluide keine deutliche Ausbildung von Druckwellen mehr zustande kommt. Typische optimale Werte der Antriebsfrequenz dürften im Bereich von etwa 50Hz bis zu einigen kHz liegen. Die Signalform, mit der die Membran 14 angeregt wird, ist prinzipiell beliebig. Es wird jedoch eine rechteckförmige Signalform bevorzugt, um insbesondere bei der Abwärtsbewegung der Membran hohe Drucktransienten zu erzielen.

Die vorliegende Erfindung schafft somit zuverlässige, einfach herstellbare und flexibel einsetzbare Mikromischer, die keine komplizierten Kanalstrukturen und nicht zuviel Platz auf einem Chip benötigen, weshalb die Herstellung günstig ist. Weiterhin sind die erfindungsgemäßen aktiven Mikromischer zuverlässig und gegenüber einer Verstopfung relativ wenig anfällig, da sämtliche Kanaldurchmesser ausreichend groß gewählt werden können. Darüber hinaus ist die Ausgaberate durch die Eingaberate der zu mischenden Fluide nahezu beliebig einstellbar, wobei lediglich die Frequenz des Anregungssignals für die Membran auf eine veränderte Ausgaberate angepaßt werden sollte, um einen gleich hohen Mischungsgrad zu erreichen. Zusammenfassend liefert die vorliegende Erfindung daher folgende Vorteile:

- es kann ein sehr geringes Mischkammervolumen bis in den sub- μ l-Bereich realisiert werden, wodurch das für viele Anwendungen kritische Totvolumen der Anordnung sehr klein ist, was die genaue Mischung auch kleinster Stoffmengen erlaubt;
- die Flußraten, mit denen die Einspeisevorrichtungen in den Mikromischer einspeisen, haben kaum Auswirkungen auf das Mischergebnis, als einzige Größe sollte jedoch die Frequenz des Ansteuersignals angepaßt werden;
- es können beliebige Mischverhältnisse realisiert werden, da das Mischverhältnis extern durch die Einspeiseraten definiert wird und nicht von der Mischergeometrie abhän-

gig ist, wodurch in Verbindung mit dem geringen Totvolumen der Mischkammer auch zeitlich variable Mischprofile sehr schnell gefahren werden können;

- die durchströmte Struktur des Mischers kann einfach mit ausreichendem Querschnitt strömungstechnisch günstig ausgelegt werden, wodurch auch partikelhaltige Medien ohne Gefahr von Sedimentation in Totzonen oder Verstopfung verwenden bzw. gemischt werden können;
- die Betriebsfrequenz des bevorzugterweise verwendeten Piezoaktors liegt maximal im kHz-Bereich und damit signifikant unter der Betriebsfrequenz beispielsweise eines SAW-Wandlers, wodurch der Leistungsverbrauch des erfindungsgemäßen aktiven Mischers begrenzt ist, bzw. der Wirkungsgrad des aktiven Mischers hoch ist.

Patentansprüche

1. Aktiver Mikromischer mit folgenden Merkmalen:

einem Membranelement (12) mit einem Randbereich (16) und einer Membran (14), wobei auf einer Hauptoberfläche der Membran eine Einrichtung (14) zum Auslenken der Membran (14) angeordnet ist;

einem Substratelement (10), das mit dem Randbereich (16) des Membranelements (12) verbunden ist, um eine Mischkammer (24) zwischen der anderen Hauptoberfläche der Membran (14) und dem Substratelement (10) zu definieren,

wobei die Mischkammer (24) zumindest zwei Einlässe (28, 30, 32, 34; 28', 30', 32', 34') zum Einspeisen von zumindest zwei zu mischenden Fluiden aufweist,

wobei die Mischkammer (24) einen Auslaß (36, 38) aufweist, der in dem Substratelement (10) vorgesehen ist, und

wobei der Auslaß (36, 38) so in dem Substratelement (10) angeordnet ist, daß derselbe einem auslenkbaren Bereich der Membran (14) gegenüberliegt, daß bei einer Auslenkung der Membran in Richtung des Auslasses (36, 38) ein Druckstoß auftritt, der eine Vermischung des Fluids (60) in der Nähe des Auslasses (36, 38) bewirkt.

2. Aktiver Mikromischer nach Patentanspruch 1, bei dem der Auslaß (36, 38) an einem Ort in dem Substratelement (10) angeordnet ist, dem der Bereich der Membran (14) mit der größten Auslenkung gegenüberliegt.

3. Aktiver Mikromischer nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Einlässe (28, 30, 32, 34; 28', 30', 32', 34') derart bezüglich des Auslasses (36, 38) angeordnet sind, daß ihre Abstände zum Auslaß (36, 38) möglichst groß sind.

4. Aktiver Mikromischer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die zumindest zwei Einlässe (28, 30, 32, 34; 28', 30', 32', 34') dort in der Mischkammer (24) angeordnet sind, wo ein Bereich der Membran (14) vorhanden ist, der eine minimale Auslenkung ausführen kann.
5. Mikromischer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Membran (14) eine allseitig befestigte Membran ist, und bei dem die Einlässe (28, 30, 32, 34; 28', 30', 32', 34') in der Nähe des Rands der Membran angeordnet sind, während der Auslaß (36, 38) in dem Bereich des Substratelements (10) angeordnet ist, der der Mitte der Membran (14) gegenüberliegt.
6. Aktiver Mikromischer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Mischkammer (24) zumindest in der Nähe des Auslasses (36, 38) eine flache Form hat, wobei eine Abmessung der Mischkammer parallel zum Substratelement größer als eine Abmessung der Mischkammer senkrecht zum Substratelement ist, derart, daß durch Auslenkung der Membran von dem Substratelement weg Fluid (50) aus dem Auslaß zurück in die Mischkammer bewegt wird, um mit dem in der Mischkammer vorhandenen Fluid vermischt zu werden.
7. Aktiver Mikromischer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zumindest zwei Einlässe (28', 32') in dem Substratelement (10) vorgesehen sind, zumindest zwei Einlässe (28, 32) in dem Membranelement vorgesehen sind, ein Einlaß in dem Membranelement und ein Einlaß im dem Substratelement vorgesehen sind, oder eine Einlaß zwischen dem Membranelement und dem Substratelement vorgesehen ist.
8. Aktiver Mikromischer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Membran (14) des Membranelements (12) aus Silizium, Kunststoff, Glas oder Metall aufge-

baut ist.

9. Aktiver Mikromischer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Membran (14) von der Mischkammer (24) elektrisch isoliert ist.
10. Aktiver Mikromischer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Mischkammer (24) durch eine Einsenkung in dem Substratelement (10) und/oder durch eine Einsenkung in dem Membranelement (12) definiert ist.
11. Aktiver Mikromischer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Mischkammer (24) eine Höhe zwischen 5 und 100 μm hat.
12. Aktiver Mikromischer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Einlässe (28, 30, 32, 34; 28', 30', 32', 34') und der Auslaß (36, 38) derart dimensioniert sind, daß eine Verstopfung durch Partikel in den zu mischenden Fluiden vermieden wird und/oder ein Druckabfall im wesentlichen vermieden wird.
13. Aktiver Mikromischer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, der ferner folgende Merkmale aufweist:

eine Mehrzahl von Einspeisevorrichtungen, die mit den Einlaßöffnungen (28, 32; 28', 32) gekoppelt sind und über Fluidkanäle (30, 34; 30', 34') mit den Einlässen in die Mischkammer fluidisch verbunden sind, wobei die Einspeisevorrichtungen insbesondere dynamisch auf unterschiedliche Dosieraten einstellbar sind, um das Mischverhältnis des aktiven Mikromischers festzulegen bzw. dynamisch zu variieren.
14. Aktiver Mikromischer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Membran (14) und/oder die Einrichtung (18) zum Auslenken der Membran derart ausgestaltet sind, daß die Auslenkung der Membran (14) be-

zöglich einer Ruhestellung derselben zu dem Auslaß (36, 38) hin größer als die Auslenkung der Membran (14) bezüglich der Ruhestellung derselben von dem Auslaß weg ist.

15. Aktiver Mikromischer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Mischkammer (24), die Membran (14) und/oder die Einrichtung (18) zum Auslenken der Membran derart ausgestaltet sind, daß eine Gesamtauslenkung der Membran (14) in der Größenordnung einer Höhe der Mischkammer (24) liegt.
16. Aktiver Mikromischer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Frequenz einer an die Einrichtung (18) zum Auslenken anlegbaren Spannung einstellbar ist, um in Abhängigkeit von einer vorbestimmten Auslaß-Strömungsrate einen erwünschten Mischungsgrad zu erreichen.
17. Aktiver Mikromischer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine an die Einrichtung (18) zum Auslenken der Membran anlegbare Spannung rechteckförmig ist, um möglichst hohe Drucktransienten zu erreichen.
18. Aktiver Mikromischer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine Frequenz eines an die Einrichtung (18) zum Auslenken der Membran (14) anlegbaren Wechselsignals zwischen 50 Hz und 10 kHz liegt.
19. Aktiver Mikromischer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Einrichtung (18) zum Auslenken der Membran (14) als Piezoaktor, als elektrostatischer Aktor oder als magnetischer Aktor ausgeführt ist.

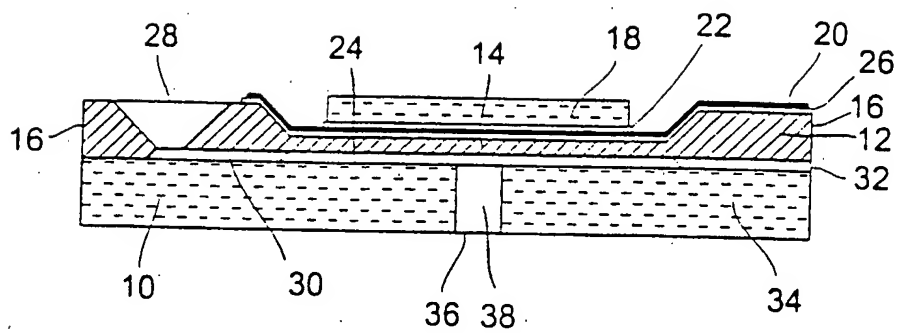


Fig. 1

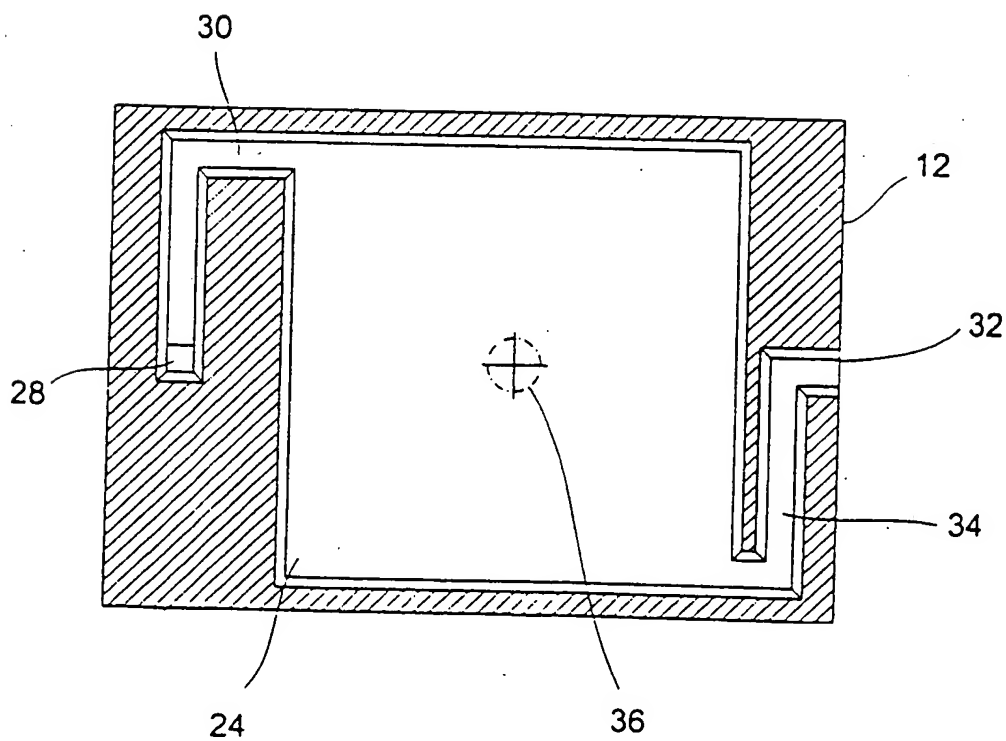


Fig. 2

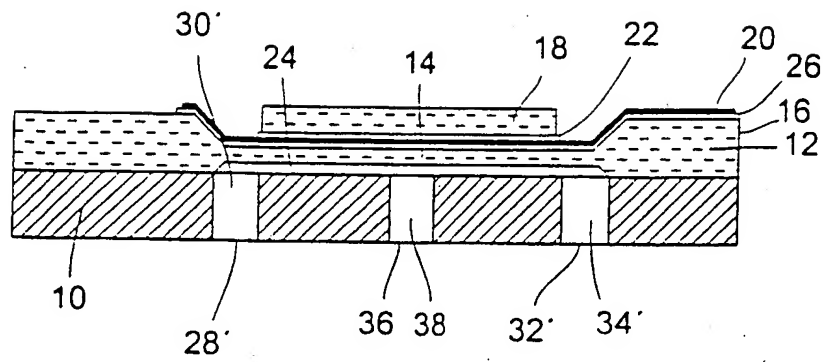


Fig. 3

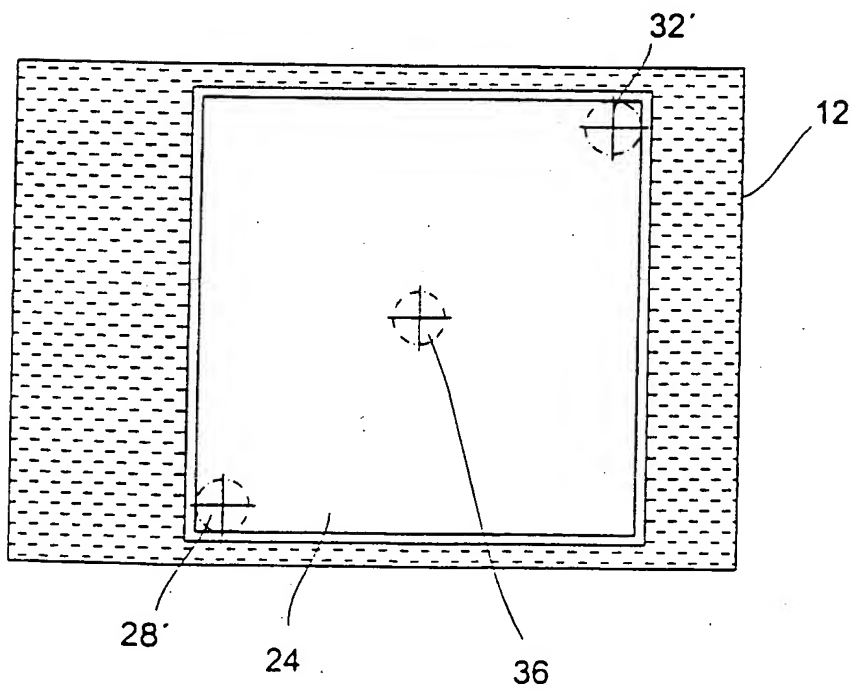


Fig. 4

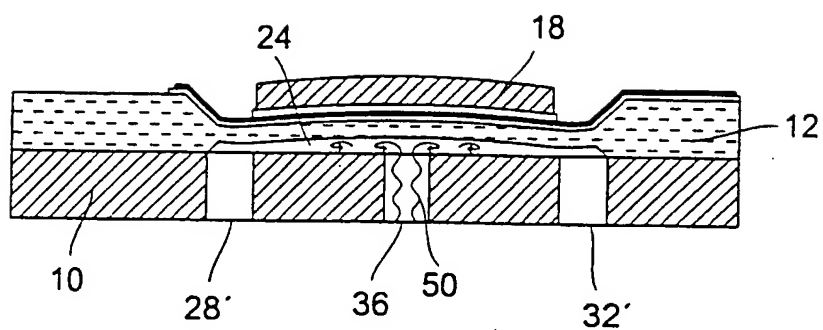


Fig. 5

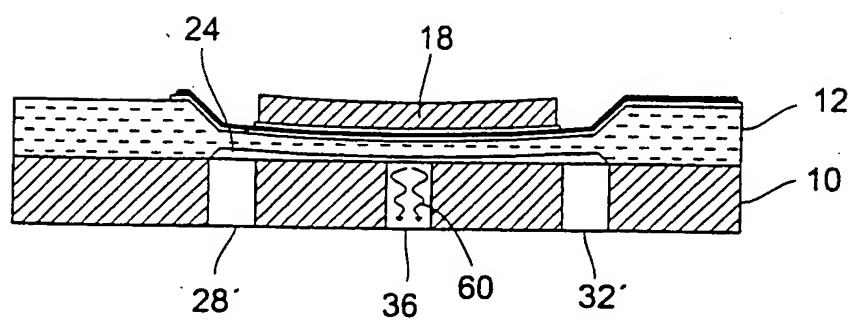


Fig. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 99/01722

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 B01F5/06 B01F11/00 B01J19/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B01F B01J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 196 11 270 A (GESIM-GESELLSCHAFT FÜR SILIZIUM-MIKROSYSTEME MBH) 25 September 1997 (1997-09-25) cited in the application claims; figures ---	1
A	EP 0 190 019 A (SYNTEX (U.S.A.) INC.) 6 August 1986 (1986-08-06) claims 6-12, 15 ---	1
A	US 4 467 964 A (CH. KAESER) 28 August 1984 (1984-08-28) claim 1 --- -/--	1

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

25 October 1999

Date of mailing of the international search report

02/11/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Cordero Alvarez, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 87/01722

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 11, no. 361 (C-459), 25 November 1987 (1987-11-25) & JP 62 132530 A (HITACHI LTD), 15 June 1987 (1987-06-15) abstract</p> <p>-----</p>	1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP/99/01722

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 B01F5/06 B01F11/00 B01J19/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 B01F B01J

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 196 11 270 A (GESIM-GESELLSCHAFT FÜR SILIZIUM-MIKROSYSTEME MBH) 25. September 1997 (1997-09-25) in der Anmeldung erwähnt Ansprüche; Abbildungen ---	1
A	EP 0 190 019 A (SYNTEX (U.S.A.) INC.) 6. August 1986 (1986-08-06) Ansprüche 6-12, 15 ---	1
A	US 4 467 964 A (CH. KAESER) 28. August 1984 (1984-08-28) Anspruch 1 ---	1
-/--		

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

25. Oktober 1999

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

02/11/1999

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Cordero Alvarez, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 90/01722

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 19611270	A	25-09-1997	NONE	
EP 190019	A	06-08-1986	US 4676656 A	30-06-1987
			AT 74441 T	15-04-1992
			AU 587797 B	31-08-1989
			AU 5272686 A	31-07-1986
			CA 1259065 A	05-09-1989
			DE 3684620 A	07-05-1992
			DK 38786 A	26-07-1986
			ES 551235 A	16-04-1987
			FI 860344 A	26-07-1986
			JP 2520108 B	31-07-1996
			JP 61204031 A	10-09-1986
			KR 9402466 B	24-03-1994
US 4467964	A	28-08-1984	CH 645176 A	14-09-1984
			CA 1170690 A	10-07-1984
			EP 0052576 A	26-05-1982
			JP 57117361 A	21-07-1982
JP 62132530	A	15-06-1987	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichung, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP/01722

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
DE 19611270	A	25-09-1997	KEINE		
EP 190019	A	06-08-1986	US	4676656 A	30-06-1987
			AT	74441 T	15-04-1992
			AU	587797 B	31-08-1989
			AU	5272686 A	31-07-1986
			CA	1259065 A	05-09-1989
			DE	3684620 A	07-05-1992
			DK	38786 A	26-07-1986
			ES	551235 A	16-04-1987
			FI	860344 A	26-07-1986
			JP	2520108 B	31-07-1996
			JP	61204031 A	10-09-1986
			KR	9402466 B	24-03-1994
US 4467964	A	28-08-1984	CH	645176 A	14-09-1984
			CA	1170690 A	10-07-1984
			EP	0052576 A	26-05-1982
			JP	57117361 A	21-07-1982
JP 62132530	A	15-06-1987	KEINE		

C (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 11, no. 361 (C-459), 25. November 1987 (1987-11-25) & JP 62 132530 A (HITACHI LTD), 15. Juni 1987 (1987-06-15) Zusammenfassung -----</p>	1

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.